

# 地上／衛星ライダー・静止気象衛星・流跡線モデルを用いた ダスト沈降域の解析

甲斐 憲次<sup>1</sup>, 中村晃太郎<sup>2</sup>, 河合 慶<sup>1</sup>, 源 祐輝<sup>1</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学大学院環境学研究所 (〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町)

<sup>2</sup>気象庁大気海洋部 (〒105-8431 東京都港区虎ノ門 3-6-9)

## Analysis of the dust settling areas by using ground / satellite-based lidars, geostationary satellite Himawari-8, and HYSPLIT model

Kenji KAI<sup>1</sup>, Kotaro Nakamura<sup>2</sup>, Kei KAWAI<sup>1</sup>, Yuki MINAMOTO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi 464-8601

<sup>2</sup> Japan Meteorological Agency, 3-6-9 Toranomon, Minato City, Tokyo 105-8431

**Abstract:** A large-scale dust event occurred in East Asia during 2-8 May 2017. The dust masses were generated in mainland Asia and mainly transported eastward. Some dust masses were transported to all over Japan via the Korean Peninsula. This event is the only case that Asian dust (Kosa) was observed in Japan in this year. In this study, we used the data observed by two satellites (CALIPSO and Himawari-8) as well as ground-based observation data, objective analysis data, and a trajectory model to analyze this event. As a result, the horizontal and vertical distribution of the dust were revealed in detail. In particular, Dust RGB imagery created from the data derived from AHI onboard the Himawari-8 showed the horizontal distribution of the dust clearly. In this process, the dust masses changed their shape in arcs along the western side of the cold fronts. The Dust RGB imagery, present weather reports and a result of the trajectory analysis show that a portion of the dust deposited in the Loess Plateau and the North China Plain.

**Key Words:** CALIPSO, Himawari-8 Dust RGB, ceilometer, CALIPSO and Himawari-8

### 1. はじめに

2017年5月2～8日、東アジアでダストイベントが発生した。3つの寒冷前線がゴビ砂漠・ホルチン砂地等を連続的に通過し、本格的なダスト(黄砂)が発生した。Fig. 1は、ダストの発生源であるゴビ砂漠、黄土高原、ホルチン砂地の位置を示す。このダストは、5月6-8日、日本列島全域に飛来した。前報<sup>1)</sup>では、ダストの発生と輸送に重点を置き、発生源としてゴビ砂漠のほか、ホルチン砂地の重要性を指摘した。ダスト研究においては、ダストの発生と共に、その沈降は極めて重要である<sup>2), 3)</sup>。本報では、地上／衛星ライダー・静止気象衛星・流跡線モデルを用いて、ダスト沈降域の動態を解析したので報告する。

### 2. 観測と解析方法

本研究では、地上／衛星ライダーの減衰後方散乱係数、ひまわり8号ダストRGB、SYNOPなどの地上観測データ、NCEP 全球データ同化システムの客観解析データ、NOAA HYSPLITの流跡線モデル等を用いて、ダストの水平・鉛直分布を詳細に解析した。

Fig. 2は、(a)ゴビ砂漠のモンゴル・ダランザドガド気象台に設置したシーロメーター(Vaisala CL51)<sup>4)</sup>と(b)OPC(Aerotrak 9306-V2)、(c)衛星ライダーCALIPSO<sup>5)</sup>、(d)ひまわり8号の

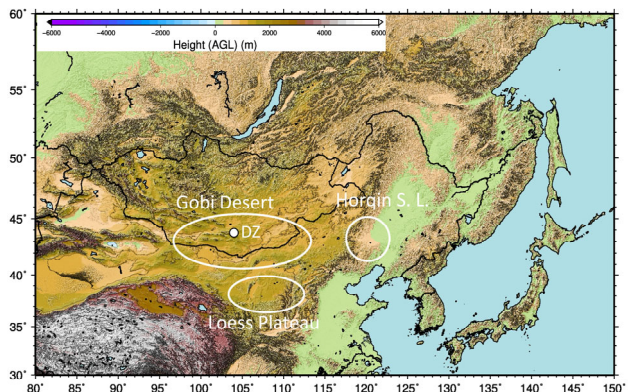


Fig. 1 Research field. Gobi Desert, Loess Plateau, and Horqin Sandy Land.

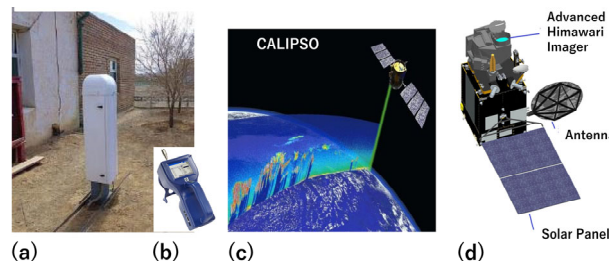


Fig. 2 Observation systems. (a) Ceilometer, (b) OPC, (c) CALIPSO, and (d) Himawari-8.

可視赤外放射計(AHI)を示す。シーロメーターを用いて、地上からダストの高度分布を観測した。また、地上ではOPCによるダストの粒径分布を調べた。対象地域上空のダスト時間高度断面をみるため、衛星ライダーCALIOPを使用した。ひまわり8号ダストRGBを用いて、ダストの水平分布を調べた。ダストRGB<sup>6)</sup>は、ひまわり8号/9号に搭載されたAHIの観測バンドB15(12.4 $\mu$ m)とB13(10.4 $\mu$ m)の差分、B13とB11(8.6 $\mu$ m)の差分、B13画像をそれぞれ赤色、緑色、青色に割り当て、RGB合成した画像である。本報では詳細には触れないが、ダランザドガドで発生したダストイベントについて事例解析をすると、Fig.2の4つの観測結果はよい対応がみられた。

Fig.3は、ダストイベントの解析方法を示す。(a)のNCEPデータ同化システム<sup>7)</sup>の700hPa高度、鉛直p速度、湿数、850hPa風、相当温位、地上気圧、風を用いて、気象場を解析した。矢印のベクトルは10m/s以上の強風を示し、この強風域はダスト発生域と明瞭に対応した。(b)は、ひまわり8号ダストRGBダストの合成図で、ダストの水平分布をみるために用いた。この図では、ダストが浮遊している領域は、ピンク色で表示される。ダストRGBの動画を用いると、ダストの発生と輸送を視覚的に捉えることができた。(c)は、SYNOP<sup>8)</sup>の現在天気のうち、ダスト現象に関わるdust storm(砂塵嵐、赤丸:ww=09,30-35,98)、blowing dust(砂塵が巻き上がっているがdust stormほど顕著ではない現象、黄丸:ww=07,08)、floating dust(広域にダストが浮遊している現象、青丸:ww=06)を合成図に記入した。SYNOP報は、現地気象台の職員が目視観測しているので、ダスト現象の発生とその水平分布の検証に役立った。

### 3. 結果と考察

まず、ダストの特徴的な輸送過程を示し、ダスト沈降域を推定したい。

Fig.4(a)は、5月3日12UTCから5月4日0UTCの事例である。5月3日、寒冷前線の後面に丸く分布しているが、5月4日になるとその分布は楕円状になる。寒冷前線の尻尾の方は、青丸(floating dust)が多くなる。第2の事例(b)は、5月4日の丸いダスト分布域は、5月5日には寒冷前線の後面にバナナ状に細長く分布する。

二つの事例から、寒冷前線の尻尾の方で、ダスト沈着が始まっているのではないかと想像される。

次に、流跡線モデルHYSPLIT<sup>9)</sup>を用いて、前方流跡線解析を行った。Fig.5(a)は2017年5月4日03UTCの前方流跡線解析の結果である。シーロメーターの観測から、ゴビ砂漠の上空1.3kmに27個の空気塊を配置して追跡した。低気圧L3がゴビ砂漠付近を通過した後、低気圧中心から南西側の広い範囲でダストが発生し、卓越する西寄りの風によって風下へ輸送された。白い楕円はダスト沈降域を示す。低気圧中心から離れるように南東方向に移動したダストの一部が中国・黄土高原や華北平原で失速して沈着したと思われる。

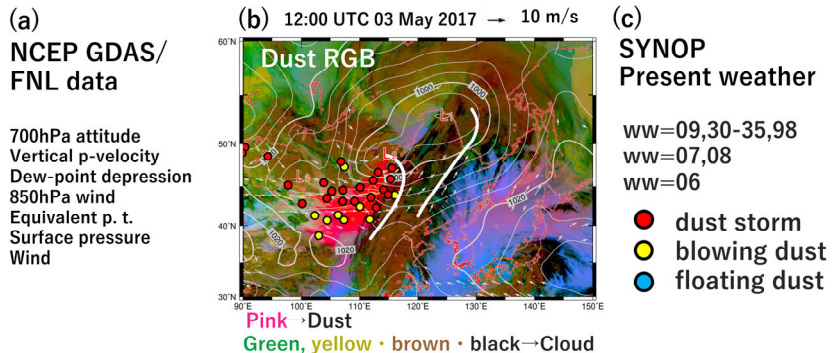


Fig. 3 Analysis method. (a) NCEP GDAS/FNL data, (b) Himawari-8 Dust RGB, and (c) SYNOP.

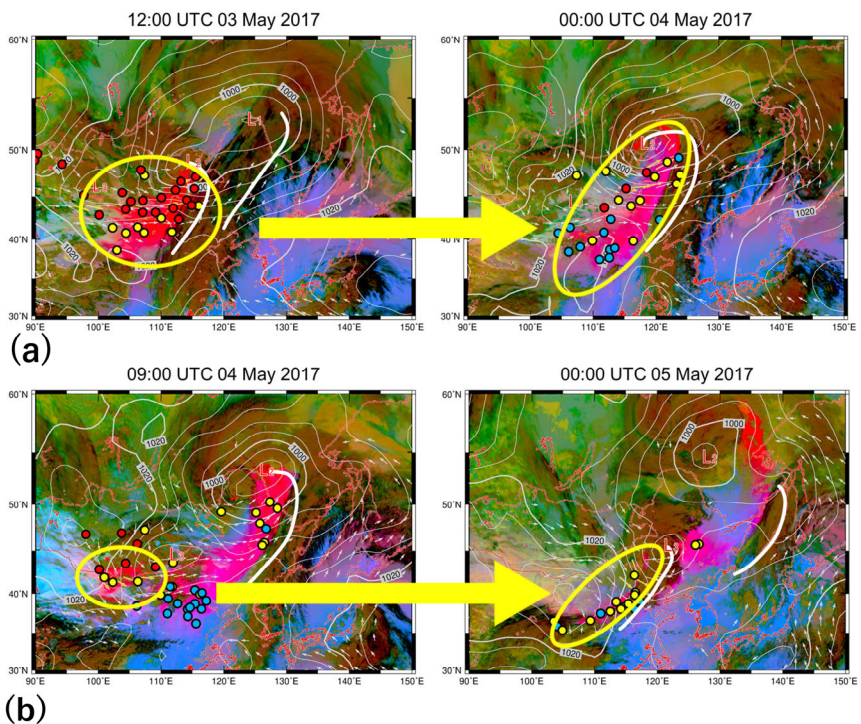


Fig. 4 Two characteristic cases of the dust deposition. (a) Rugby-ball type from 12:00 UTC 03 May to 00:00 UTC 04 May 2017, (b) Banana type from 09:00 04 May to 00:00 UTC 05 May 2017.



Fig. 5(b)は、2017年5月5日09 UTCの結果である。ダスト群の一部は、低気圧の中心から離れるように南方向に移動し、黄土高原や華北平原で失速する(HYSPLIT)。流跡線の移動距離が短い(=失速)ので、弱風域に入り、沈降する。ここで、バナナ状のダスト沈降域を形成する。このことは、SYNOPとも対応する。

このダスト沈降域付近を通過したCALIOPのデータを用いて、検証する。Fig. 6は、(a) CALIOP 減衰後方散乱係数の高度時間断面、(b) Vertical Feature Mask、(c) CALIPSOの軌道(地点a, b, c, d)を示す。地点cはピンク色なので、低気圧によってダストが巻き上げられている。地点bからcにかけては、Floating dustが報告されている。地点cで地上から高度3-4kmまで濃いダストが漂っている。低気圧が巻き上げたフレッシュなダストである。地点aでは、地上から3km付近までダストが漂っているが、地点cに比べると濃度は薄い。これは、失速している間に、大きいダスト粒子は重力沈降したと推測される。この傾向は、SYNOPのfloating dustとも対応している。

Fig. 7に解析期間中の寒冷前線とダスト沈降域の地理的分布を示す。解析結果から、二つのダストのグループがあることがわかる。一つはメインのダスト群で、寒冷前線に向かって東に移動する。このダスト群は風下側の日本などに黄砂現象をもたらす。

もう一つは低気圧中心から離れるように南に移動するダスト群である。このダスト群は、黄土高原や華北平原で失速して沈着する。これがダスト沈降域を形成すると考えられる。この解析から、「寒冷前線の尻尾からダストがまき散らされ、失速して沈着した」という様子がイメージできる。

#### 4. まとめ

本研究では、2017年5月2～8日のダストイベントを対象に、ライダー観測・ダストRGB・SYNOP・HYSPLITによる解析により、ダスト沈降域の動態を解明した。興味深い点は、低気圧の中心部で巻き上げられたダストが時間と共に寒冷前線に沿

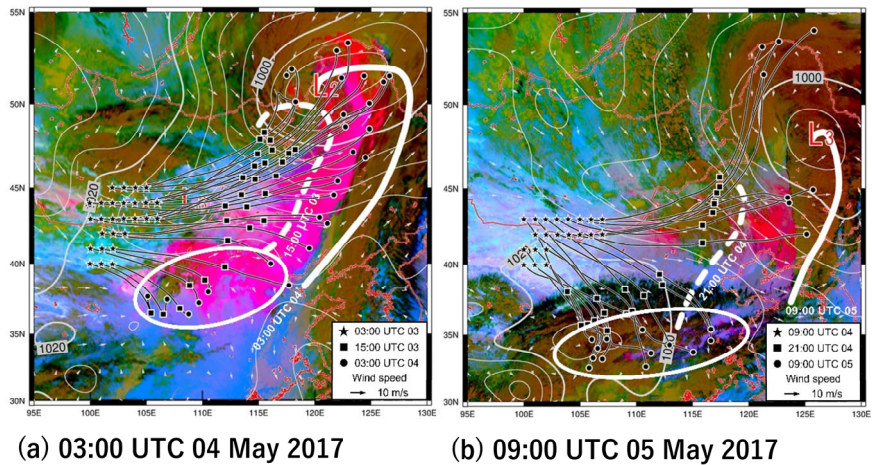


Fig. 5 Forward Trajectory analyses of the air parcels that should include the dust from the Gobi Desert. (a) 03:00 UTC 04 May 2017, (b) 09:00 UTC 05 May 2017. Black stars, squares and circles represent the location of the air parcels at the starting time, 12 h and 24 h after the starting time, respectively. The white dashed lines and the white solid lines indicate the cold front at 12 h and 24 h after the starting time, respectively. The white circles show the area where the dust seems to be deposited.

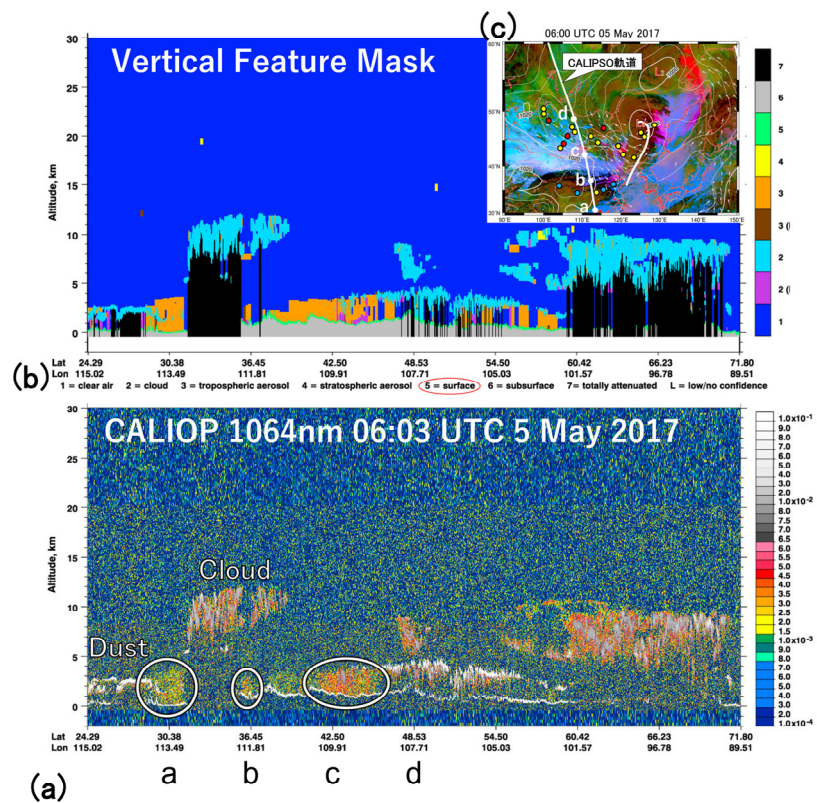


Fig. 6 Observation of the dust layer by the space lidar. (a) attenuated backscattering coefficient observe by CALIOP onboard CALIPSO, (b) vertical feature mask, (c) points of a, b, c, and d in a course of CALIPSO

って再分布することである。

ダスト沈降域の動態に関して、二つのダストのグループがあることがわかった。

1) 一つはメインのダスト群で、寒冷前線に向かって東に移動する。このダスト群は風下側の日本などに黄砂現象をもたらす。

2) もう一つは低気圧中心から離れるように南に移動するダスト群である。このダスト群は、黄土高原や華北平原で失速して沈着する。これがダスト沈降域を形成すると考えられる。

### 謝 辞

本研究は、R3-R5 年度科学研究費 「黄砂ホットスポットの気象学的研究—ひまわり8号ダストRGBとライダー観測網の活用」(代表者：甲斐憲次)の支援を得た。

### 参考文献

- 1) Y. Minamoto et al., 2018, *SOLA*, **14**, 33-38.
- 2) K. Pye: *Aeolian Dust and Dust Deposit* (Academic Press, 1987) P.334.
- 3) P. Knippertz and J.-B. W. Stuut ed.: *Mineral Dust – A Key Player in the Earth System* – (Springer, 2014) p.509.
- 4) K. Kawai et al., 2015, *SOLA*, **11**, 156-159.
- 5) D. W. Winker et al., 2009, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **26**, 2310-2323.
- 6) Meteorological Satellite Center, 2015: Dust RGB Detection of Yellow Sand (Asian Dust). Available on [http://www.data.jma.go.jp/mscweb/en/VRL/VLab\\_RGB/RGBImage.html](http://www.data.jma.go.jp/mscweb/en/VRL/VLab_RGB/RGBImage.html).
- 7) NCAR, 2023, NCEP GDAS/FNL 0.25 Degree Global Tropospheric Analyses and Forecast Grids. Available on <https://rda.ucar.edu/datasets/ds083.3/>
- 8) World Meteorological Organization, 2012, *Weather reporting*, **9**.
- 9) A.F. Stein et al., 2015, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **96**, 2059-2077.

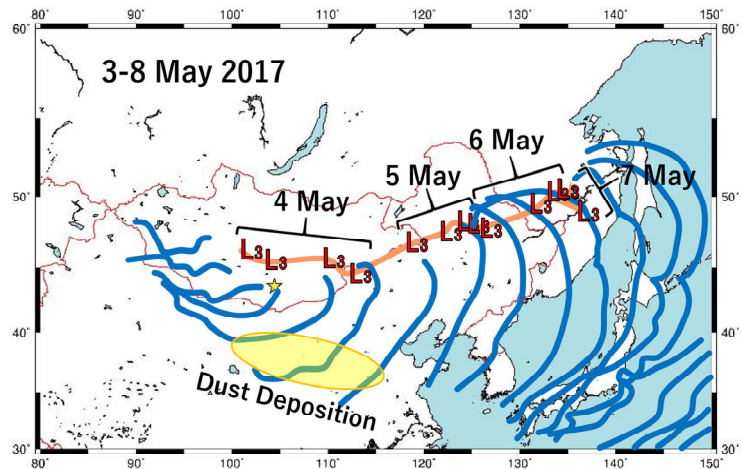


Fig. 7 Cold fronts of extratropical low-pressure systems in 03 – 07 May 2017 and the dust deposition area near the Loess